

燃用超低热值燃料的燃气轮机及其热力分析

王艳杰¹, 翁一武¹, 尹 娟¹, Su Shi²

(1. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030;

2. Commonwealth Science and Industry Research Organization, Brisbane, Australia, Q14001)

摘 要: 提出一种基于催化燃烧方式利用超低热值燃料的方法, 介绍超低热值燃料催化燃烧燃气轮机的结构组成和原理并分析技术关键点, 实验验证超低热值燃料稳定催化燃烧的可行性; 并以百千瓦级功率为例进行燃气轮机热力循环计算和分析, 验证燃用超低热值燃料燃气轮机装置可以实现, 且可以发出有效功, 为燃用超低热值燃料燃气轮机系统的研制开发提供切实可行的方法和依据。

关 键 词: 超低热值燃料; 催化燃烧; 燃气轮机特性

中图分类号: TK472. 5; O643. 2 文献标识码: A

引 言

按热值高低标准把燃气轮机燃用气体燃料分为 5 类, 最低的气体燃料其热值小于 4 MJ/m^3 , 而对超低类没有明确规定, 如矿井通风瓦斯气、煤层气、水煤气、沼气、生物质气和钢铁、化工行业副产气等在内的可燃混合气体中的可燃气主要为甲烷(CH_4), 但其浓度很低, 只有 $1\% \sim 5\%$, 因此这一类可燃混合气体可以归为超低热值燃料, 其燃料热值小于 1 MJ/m^3 。目前, 世界上几乎所有超低热值燃料都未进行回收处理就直接排放入大气, 每年全世界因煤矿开采和钢铁冶炼排入大气中的甲烷总量为 $2500 \times 10^4 \text{ t}$, 相当于煤矿原始总能源的 60% 。随着煤炭和钢铁产品产量的增加, 预计到 2010 年甲烷排放量将增至 $2800 \times 10^4 \text{ t}$, 其中 70% 来自超低热值燃料^[1]。

将甲烷直接排放到大气中, 一方面造成有限的不可再生资源的严重浪费, 每年仅从煤矿通风瓦斯中释放的甲烷低位发热量相当于 $3370 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤的低位发热量; 另一方面造成大气污染加剧温室效应, 单位质量的 CH_4 对大气温室效应的影响 GWP (Global Warming Potential) 是 CO_2 的 24.5 倍^[2]。因此, 合理回收利用超低热值燃料具有节能和环保双重意义。

尽管对超低热值燃料进行合理利用具有显著的经济效益和社会意义, 但是目前无论国内还是国外, 绝大多数超低热值燃料都直接排到大气中, 原因是超低热值燃料中的可燃物含量很低, 通常只有 $1\% \sim 5\%$, 热值只有 0.359 MJ/m^3 , 常规的燃烧技术无法对这种能源进行利用。本文采用催化燃烧技术来释放这类超低热值燃料的潜在能量。催化燃烧与传统的火焰燃烧有着本质上的区别, 它是一种发生在固体催化剂表面的无火焰氧化反应, 氧化反应发生的温度很低, 即使燃料热值很低也可以完成氧化反应, 为利用超低热值燃料提供可行的氧化方式。

燃用超低热值燃料的燃气轮机是为了回收利用超低热值燃料而研发的新型燃气轮机。它以超低热值燃料为能源, 以催化燃烧方式将燃料的化学能转化为热能加以利用。

1 发展现状及前景

1.1 国内外发展现状

国外在超低热值燃料的研究和应用方面开始的比较早, 从 20 世纪 90 年代开始, 作为产煤大国的美国和澳大利亚, 就开始了对超低热值燃料应用的研究工作, 美国西北燃料公司在 1995 年前后研究开发了采用煤矿通风瓦斯做助燃空气进行发电小型 (250 kW) 燃气轮机; 澳大利亚 BHP 公司研究开发了共装备有 54 台功率为 1 MW 的用采空区抽放的瓦斯作为主要燃料、回风作为辅助燃料的 Caterpillar 内燃发电机; 澳大利亚联邦科学研究所 CSIRO 已经研制成功了一台应用于 Appin 煤矿现场低浓度甲烷燃气轮机; 瑞典 Gothenberg VOLVO 电厂和加拿大 Nova Scotia 煤矿在 90 年代中期开始对超低热值燃料利用技术进行研究, 并且已经将相关研究成果应用到实际中;

收稿日期: 2006-06-08; 修订日期: 2006-12-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90610019)

作者简介: 王艳杰 (1982-) 女, 满族, 河北承德人, 上海交通大学硕士生。

日本等国家在研究超低热值燃料利用技术上也获得了很大的成果^[3-5]。

对于超低热值燃气的利用,我国尚处于起步阶段,但是众所周知:我国超低热值燃料产量丰富,可利用价值很高,越来越多的科研群体和个人开始研究超低热值燃料的利用方法。煤炭领域研究的一种新的变压吸附方式可以大大增加矿井中超低热值燃气的采集量,为超低热值燃料燃气轮机的燃料来源提供了切实的保证^[6];国内各大钢铁企业都在积极研究回收利用高炉煤气的方法,以宝钢为例已经研发出利用低热值高炉煤气的燃气—蒸汽联合循环发电和燃煤—燃气混烧锅炉发电机组^[7-8];在我国利用矿井通风瓦斯进行热电联产以及热电联产的方式和发展燃气轮机热电时应注意的问题都是目前国内煤炭领域和能源领域主要研究的方向^[9-12]。这些例子都说明超低热值燃料的利用在我国各个领域已经逐渐发展起来。

1.2 应用前景

在煤炭领域,可以回收利用矿井通风瓦斯,利用超低热值燃料燃气轮机在矿井周围建立小型电站,以满足矿井本身的电量消耗;在钢铁领域可将高炉煤气、水煤气作为超低热值燃料燃气轮机的能量源,开发热电联产及燃气—蒸汽联合发电系统,作为工厂本身热电消耗的补充;超低热值燃料燃气轮机还能采用生物质能以及燃料电池混合动力中的低热值剩余燃料为能量源,进一步提高能量利用效率。另外沼气、水煤气等都可以作为超低热值燃料燃气轮机的能量源,因此超低热值燃料催化燃烧燃气轮机具有广阔的研究和应用前景。

2 系统组成及工作原理

2.1 系统组成及运行原理

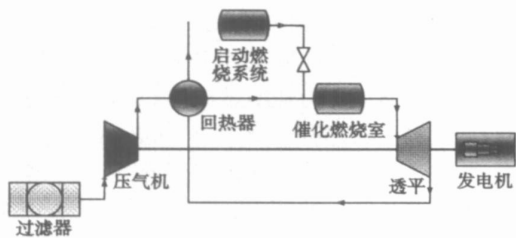


图1 燃用超低热值燃料燃气轮机系统示意图

燃用超低热值燃料燃气轮机的系统组成主要包括超低热值燃料过滤器、离心式压气机、逆流回热器、

催化燃烧室、向心式透平以及一套启动燃烧系统。

燃用超低热值燃料燃气轮机是为了利用超低热值燃料而专门研发的一种新型燃气轮机。由于超低热值燃料的性质,不论是在结构和性能上燃用超低热值燃料燃气轮机都与传统燃气轮机有着很大的不同,如表1所示。

表1 燃用超低热值燃料燃气轮机与传统燃气轮机结构和性能上的区别

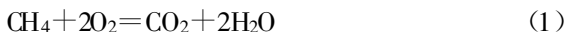
	超低热值燃气轮机	传统燃气轮机
工质进入方式	超低浓度燃气直接进入压气机	空气由压气机进入,燃气直接喷入燃烧室
燃烧方式	催化燃烧	点火燃烧
燃烧室	内置蜂窝状催化剂	内空
燃空比	固定	可调

燃用超低热值燃料燃气轮机的运行原理为:超低热值燃料在过滤器内被过滤至纯净且可燃物浓度稳定;进入压气机内被压缩至 $199 \times 10^5 \sim 349 \times 10^5$ Pa,温度上升至 $370 \sim 450$ K;被压缩气体再进入逆流回热器由涡轮排气余热加热到 775 K 左右;催化燃烧室内置有蜂窝状催化剂, 775 K 左右的低热值燃气被催化燃烧后温度可以上升到 $940 \sim 1090$ K;高温高压的烟气在涡轮内膨胀做功后温度又下降到 $800 \sim 900$ K 之间,再将排气通回到逆流回热器中加热新的可燃混合气。如此循环,就完成了超低热值燃料由化学能向热能的转化。

2.2 超低热值燃气的催化氧化机理

以煤矿通风瓦斯为例,其中可燃气体主要为甲烷,来研究燃用超低热值燃料燃气轮机的催化氧化机理。

甲烷的燃烧机理可以由式(1)表示:



$$\Delta H_{(298)} = -0.8027 \text{ kJ/mol}$$

这是理想条件下最终化学反应的简化表达式,实际上其中包含一系列基本反应方程式^[13]。甲烷燃烧时可能产生 CO 或 CO₂,这取决于燃烧前空气和甲烷的配比。

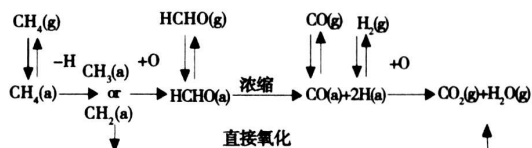


图2 可能的甲烷催化氧化机理^[14]

对于催化燃烧, 需要考虑多步表面反应, 甲烷气体催化燃烧的化学动力学机理就变得非常复杂, 基本反应如图 2 所示。图 2 中(a)表示吸附相, (g)表示气相。

通常, 催化燃烧是一个包括燃料流向催化剂表面, 吸附在催化剂上, 发生氧化反应, 反应产物从催化剂表面解吸返回的多步过程。目前已经完成的大部分在甲烷的化学计量过量情况下的动力学研究结果表明, 所进行的反应通常和氧气的浓度是没有关系的, 影响反应顺序的甲烷含量一般是在 0.5% ~ 1.5% 之间^[15]。

2.3 催化燃烧实验

在不同温度、压力、速度及甲烷浓度下进行催化燃烧实验。对于每一种实验催化剂, 甲烷都完全被氧化成二氧化碳和水。一般来说, 比较高的工作压力导致比较高的甲烷转化率。当工作压力高、流动速度稳定时, 燃烧强度相对较高, 反应器的热损失相对较低。图 3 显示了甲烷催化燃烧的实验结果, 相关的运行参数都在图中标出。

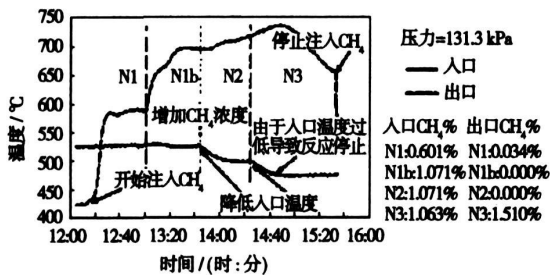


图 3 甲烷催化燃烧的实验结果

图 3 表明在一定压力下, 甲烷的催化氧化转化率与甲烷浓度和进气温度有关。借助于催化剂, 甲烷浓度分别为 0.601% 和 1.071% 两种混合气在 131.3 kPa 下几乎都能够完全发生反应; 但是在该实验中, 进入催化燃烧器的空气温度是变化的, 可以看到当反应器进口温度低于 475 °C, 即使在甲烷浓度为 1.063% 的条件下催化反应也很难进行, 但是只要温度高于 475 °C 就可以发生催化反应, 而且只要温度升高到 500 °C 以上, 甲烷的催化氧化率就可以达到 100%。而超低热值燃气中甲烷的浓度一般都在 1% ~ 5%, 所以在温度压力都达到要求的条件下可以实现甲烷的完全催化氧化。

2.4 主要技术关键点

由于超低热值燃料的可燃气低浓度、低热值性以及催化燃烧反应机理的复杂性, 因此在实际利用

超低热值燃料时, 需要注意以下几个关键技术点:

(1) 稀薄燃料的热值很低, 在同等功率下稀薄燃料燃气轮机机组的通流能力远大于甲烷、天然气等常用燃料燃气轮机的通流能力;

(2) 超低热值燃料含尘量大且甲烷浓度变化大, 在压气机前应设置高效除尘器与浓度稳定器, 调节甲烷的浓度配比, 保证燃气中的含尘量在允许含量以下并获得相对稳定的甲烷浓度;

(3) 超低热值燃料中可燃物质含量少, 发热量低, 因此在机组启动时要利用启动燃烧系统启动, 待机组稳定运行之后再关闭启动燃烧系统;

(4) 由于催化燃烧需要达到一定的温度才能进行, 燃气轮机循环需要有足够的回热度, 回热器设计需具有较强的换热能力和较低的流动损失;

(5) 催化剂应具有优良的性能, 能在 775 K 左右将低浓度燃气催化氧化, 尽可能使燃料完全燃烧而不损失自身的数量和性能。

针对上述这些问题, 本文采取相应的技术措施: 设置稀薄燃料配比和过滤的前处理系统; 仔细计算全系统流动参数的变化, 核准各部件的通流能力; 筛选、确定两种可供使用的催化剂和蜂窝状催化剂陶瓷骨架, 解决了超低热值燃料的连续稳定燃烧问题并减少燃烧室压损; 设置特殊的燃气轮机启动系统, 包括前置辅助燃烧室, 利用辅助燃料将系统引导至催化燃烧生效的状态。

3 超低热值燃气轮机装置热力循环计算

3.1 计算基础

由于燃用超低热值燃料燃气轮机与传统燃气轮机存在结构和性能的区别, 因此在进行装置循环计算的时候, 必须根据超低热值燃料催化燃烧燃气轮机的实际情况相应地做出计算方案的修整:

(1) 根据燃料的低位发热量计算燃烧室的温升, 如式(2)所示:

$$\Delta T = \frac{H_u c \%}{c_{pCH_4} \rho_{CH_4} c \% + c_{pair} \rho_{air} (1 - c \%)} \quad (2)$$

式中: ΔT —燃烧室温升; H_u —燃料低热值, kJ/m^3 ; c_{pCH_4} —甲烷定压比热; c_{pair} —空气定压比热; ρ_{CH_4} —甲烷密度; ρ_{air} —空气密度; $c\%$ —超低热值燃气中甲烷的浓度。

涡轮进口温度不是固定的, 要根据超低热值燃料燃烧后将工质加热的最高温度来计算, 因此回热器冷端出口温度、涡轮进口温度和涡轮出口温度三

者为一个相互制约的关系;

(2) 根据固定的燃空比和机组所需的工质总流量来计算机组的空气流量, 如式(3)所示:

$$Q_a = Q(1-f) \tag{3}$$

式中: Q_a —机组空气流量; Q —机组工质总流量; f —燃空比。

(3) 计算时选取的基本参数为:

目标功率 $N=100 \text{ kW}$

燃气初温 $T_0=293.15 \text{ K}$

大气压力 $P_0=101 \text{ kPa}$

压气机压比 $\pi=2.0\sim 3.5$

超低热值燃料中甲烷浓度 $c=1\%\sim 5\%$

3.2 燃用超低热值燃料燃气轮机循环热效率

根据催化燃烧试验和燃用超低热值燃料燃气轮机循环计算得到甲烷浓度和催化燃烧室出口温 T_3 度关系曲线, 如图 4 所示。

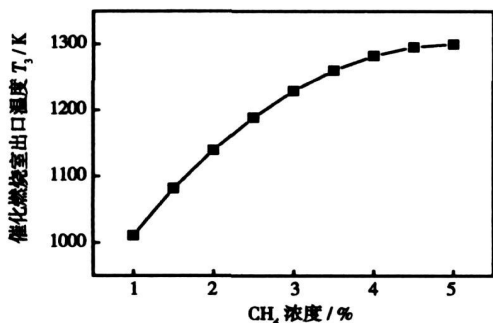


图 4 甲烷浓度与催化燃烧室出口温度的关系

由图 4 可知催化燃烧室出口温度随着甲烷浓度的增加而增加。

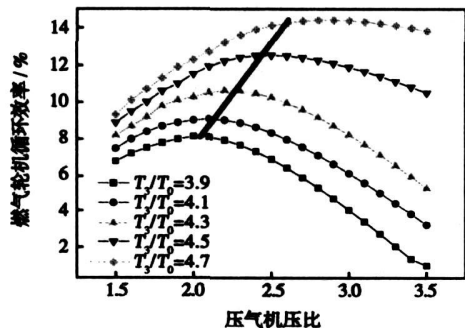


图 5 燃用超低热值燃料燃气轮机实际循环热效率

定义循环温比为 $\tau = T_3/T_0$, 保持温比 τ 为一固定值, 随着循环增压比 π 的变化, 得到一组超低热值燃料燃气轮机实际循环内效率曲线, 如图 5 所示。

由图 5 可以看出: 循环温比越大, 实际循环热的效率越高。而燃气初温 T_0 决定于环境温度, 所以只能通过提高 T_3 来提高循环效率, 而甲烷浓度又是 T_3 的决定性影响因素; 保持循环温比一定, 随着压气机压比提高循环热效率有一个极大值, 当温比增大时, 和热效率的极大值相对应的压比值也提高, 如图中倾斜粗直线, 因而可以进一步提高热效率。

3.3 热力循环计算示例及分析

对于压气机压比为 2.3, 甲烷浓度为 1.5% 的 100 kW 超低热值燃料燃气轮机装置循环计算结果见表 2。

表 2 $\pi=2.3, c=1.5\%$ 、100 kW 燃用超低热值燃料燃气轮机装置循环计算结果

	计算结果
压气机出口温度 T_2/K	391.6
压气机出口压力 $P_2/\text{kPa}(\times 10^2)$	2.295 0
压缩比功 $w_c/\text{kJ}^\circ\text{kg}^{-1}$	104.2
燃烧室进口温度 T_{2d}/K	833.3
燃烧室温升 $\Delta T_b/\text{K}$	332.2
燃烧室出口温度 T_3/K	1 080.6
涡轮进口压力 $P_3/\text{kPa}(\times 10^2)$	2.092 5
涡轮出口温度 T_4/K	944.9
涡轮出口压力 $P_4/\text{kPa}(\times 10^2)$	1.054 8
涡轮比功 $w_t/\text{kJ}^\circ\text{kg}^{-1}$	147.1
燃气轮机装置比功 $w_d'/\text{kJ}^\circ\text{kg}^{-1}$	42.9
100 kW 工质流量 $Q_G'/\text{kg}^\circ\text{s}^{-1}$	2.331 0
燃气轮机装置效率 $\eta_d'/\%$	8.881 4

通过对甲烷含量为 1.5% 的超低热值燃气催化燃烧燃气轮机装置效率的计算, 可以得到以下结果:

- (1) 带回热器效率可为 10% 左右, 要达到 100 kW 输出功率所需的工质流量较大;
- (2) 压气机压比为 2.3 的方案优于压比为 3.0 和 2.0 的方案, 是合理的。

4 结 论

通过对燃用超低热值燃料燃气轮机系统组成、运行原理分析和循环热力计算得到以下结论:

- (1) 催化燃烧为此技术的关键所在, 催化燃烧室的进口温度和可燃气浓度都对催化燃烧有着决定性的影响, 因此为了保证此燃气轮机系统正常运行, 就必须保证稳定的催化燃烧室进口温度和低热值燃气中可燃气浓度。

(2) 燃用超低热值燃料燃气轮机装置可以实现,且可以发出有效功,为超低热值燃料的回收利用提供可行性依据。

参考文献:

- [1] PHILIP W JOHNSON, THOMAS NOVAK. Use of mine ventilation exhaust as combustion air in gas-fired turbo-electric generators // IEEE transactions on industry applications [J]. Q America; IEEE, 1998 399-404
- [2] 牛国庆. 矿井回风流的合理利用 [J]. 矿业安全与环保, 2001, 12 (16): 24-26.
- [3] SU SHI, 翁一武. 以矿井乏风为燃料的催化燃烧燃气轮机的开发 // 第三届国际甲烷和氧化亚氮减排技术大会 [C]. 北京: 中国煤炭工业协会, 2003 118-125
- [4] SU SHI, ANDREW BEATH, WENG YIWU. Description of 1% methane catalytic turbine system // CISRO Exploration & Mining [C]. Queensland; CISRO, 2004. 1-7
- [5] 宁成浩, 陈贵锋. 我国煤矿低浓度瓦斯排放及利用现状分析 [J]. 能源环境保护, 2005, 19(4): 1-4, 17.
- [6] 任建兴. 低热值高炉煤气在发电设备中的应用 [J]. 上海电力学院学报, 2001, 6(17): 1-4.
- [7] 徐龙君. 煤层气污染控制及其资源化利用的研讨 [J]. 矿业安全与环保, 2000, 4(27): 6-8.
- [8] 刘文和. 低热值煤气燃气轮机联合循环发电在钢铁厂的应用 [J]. 燃气轮机技术, 2004 3(1): 21-25.
- [9] 牛国庆. 矿井回风流中低浓度瓦斯利用现状及前景 [J]. 矿业安全与环保, 2002, 3: 3-5.
- [10] 程宏斌. 煤层气热电联产技术 [J]. 中国煤层气, 2005, 2(1): 40-43.
- [11] 赵士杭, 柯玄龄. 燃用中低热值煤气时燃气轮机的压气机与透平的重新匹配 [J]. 热能动力工程, 1997, 12(2): 113-116.
- [12] LEE J H, TRMM D L. Catalytic combustion of methane [J]. Fuel Processing Technology, 1995, 42: 339-359.
- [14] CHOU C P, CHEN J Y, EVANS G H, et al. Numerical studies of methane catalytic combustion inside a monolith honeycomb reactor using multi-step surface reactions [J]. Combustion Science and Technology, 2000, 150: 27-58.
- [15] 翁一武, 苏适. 煤矿通风气中甲烷减排及发电技术 [J]. 上海电力, 2005 12(6): 588-594.

(编辑 辉)

高效电力生产

韩国使用天然气以日启动—停机方式工作的联合循环装置

据《Gas Turbine World》2006年3~4月号报道,尽管完全依赖进口的LNG(液化天然气)作为燃料,联合循环装置仍占韩国基本负荷发电容量的25%。

在最近几年,公用事业公司和IPP(独立电力生产者)建造了一些专门设计成用于几乎是日循环运行和高利用率的联合循环装置:

530 MW Bugok I、2+1多轴联合循环装置由两台180 MW Siemens双燃料SGT6-4000F燃气轮机(V84.3A2)、两台三压自然循环卧式Doosan余热锅炉、一台190 MW再热冷凝式汽轮机和三台氢冷发电机组成。ISO条件下用天然气作为燃料,该装置的额定净输出功率为537 MW,热效率为58%。该装置于2001年6月投入运行。

550 MW Incheon(仁川)、模仿Bugok I装置设计,该联合循环装置由两台SGT6-4000F燃轮机、两台三压自然循环余热锅炉、一台SST6-5000汽轮机和三台空气冷却发电机组成。该装置的额定输出功率为550 MW,热效率为58%,于2004年7月投入运行。

575 MW Yulchon.类似于Bugok I的模块设计,该联合循环装置由两台185 MW Siemens双燃料SGT6-5000F燃气轮机(W501FD)、两台带补燃的余热锅炉,一台220 MW汽轮机和三台空气冷却发电机组成。在不补燃的情况下,装置的额定输出功率为575 MW,热效率为58%。通过补燃,可以在10 min内使装置的输出功率增加到650 MW。该装置于2005年7月投入运行。

550 MW Bugok II、2+1联合循环装置由两台180 MW改进的SGT6-4000F燃气轮机、两台余热锅炉、一台汽轮机和三台发电机组成。该装置的额定输出功率为550 MW,热效率为58%,计划于2008年3月投入运行。

(吉桂明 供稿)

leaking steam flow patterns in a brush type seal can be virtually neglected. **Key words:** steam turbine, brush-type seal, porous medium model, leaking steam flow rate, numerical simulation

10 MW 氦气轮机涡轮轮盘强度的计算方法 = **A Method for Calculating the Strength of Wheel Disks of a 10 MW Helium Gas Turbine** [刊, 汉] / XU Jun, ZHANG Rui-yan, LIU Han (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), BAI Xiang-lin (College of Electromechanical Engineering under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 255 ~ 258

To date, the strength calculation and analysis of turbine disks has all along been conducted, using an “equal-thickness ring method” theory. As such a simplification has not taken into account the effect of rigidity of tenon and mortise boss on force transmission, the disk rim stress values thus obtained may sometimes exhibit a sizable error, making it impossible to analyze the stress concentration at the eccentric holes of the disk and at the root of tenon teeth. However, relatively accurate stress analytic results can now be obtained by establishing a real entity model for a wheel disk of complicated structure through the use of software Pro/E and by performing a finite element analysis and calculation, using software ANSYS. By adopting the above-mentioned two methods, calculated and analyzed was a gas turbine disk together with several stages of blades. It has been verified that the “equal-thickness ring method” theory can macroscopically reflect the force-bearing status of the disk. In the meantime, it can be proved that the selection of various parameters for the finite element method is correct, thus providing a technical reference for the strength analysis of other structures of a similar nature. **Key words:** helium gas turbine, wheel disk, strength analysis, contact stress

燃用超低热值燃料的燃气轮机及其热力分析 = **A Super-low heating-value-fuel-fired Gas Turbine and Its Thermodynamic Analysis** [刊, 汉] / WANG Yan-jie, WENG Yi-wu, YIN Juan (College of Mechanical and Power Engineering under Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030), SU Shi (Commonwealth Science and Industry Research Organization, Brisbane, Australia, Q14001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 259 ~ 263

On the basis of a catalytic combustion mode, presented is a method for utilizing super-low heating-value fuel. A description is given of the structural makeup and working principle of a gas turbine operating on the above fuel and combustion mode along with an analysis of the relevant technical key points. The feasibility of a stable catalytic combustion of the above fuel has been verified through tests. With a gas turbine rated at hundreds of kilowatts serving as an example, calculated and analyzed was a thermodynamic cycle of a gas turbine unit. The results indicate that a gas turbine plant firing the above-mentioned fuel can be realized with an output of effective power, thus providing a feasible method and basis for the research and development of a super-low heating-value-fuel-fired gas turbine system. **Key words:** super-low heating-value fuel, catalytic combustion, gas turbine characteristics, thermodynamic cycle

基于小波分析的柴-燃联合动力装置信号消噪 = **Elimination of Noise from Signals for a CODOG Plant Based on a Wavelet Analysis** [刊, 汉] / TIAN Ying (College of Mechanical and Electronic Control Engineering under Beijing Jiaotong University, Beijing, China, Post Code: 100044), LI Shu-ying (College of Power and Energy Engineering under Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(3). — 264 ~ 266

During the tests of a CODOG (combined diesel or gas turbine) plant on a test stand, to eliminate the impact of various kinds of noise and interference on measurement signals, minimize the test error of measured data and ensure a normal use of the test data, the following measures were taken to realize the elimination of noise from the signals with the displace-